

Sakari Satomaa

## **PUURAKENTEIDEN RUUVI- JA NAULALIITOKSET**

# **PUURAKENTEIDEN RUUVI- JA NAULALIITOKSET**

Sakari Satomaa  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Korjausrakentaminen

---

Tekijä: Sakari Satomaa  
Opinnäytetyön nimi: Puurakenteiden ruuvi- ja naulaliitokset  
Työn ohjaaja: Ari Oikarinen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 4/2017  
Sivumäärä: 38

---

Puurakenteiden liitosten leikkauskestävyyden mitoitukseen ei löydy ohjetta sellaiseen liitostyyppiin, jossa liitoksen puuosien välissä käytetään tuulensuojakipsilevyä. Pientalojen rakenteisiin liittyy usein myös ulkoisia parvekkeita tai katoksia. Niiden rakenteiden suunnittelu ja asentaminen helpottuisi huomattavasti, jos rakenteita kannattelevat puuosat voisi liittää tuulensuojalevyn päälle.

Opinnäytetyössä perehdyttiin naula- ja ruuviliitoksiin, joita käytetään puurakenteiden suunnittelussa. Tavoitteena oli tutkia, miten puuosien välissä oleva tuulensuojakipsilevy vaikuttaa liitoksen leikkauskestävyyteen. Työssä tarkasteltiin parvekkeiden ja katosten mahdollisia kuormia, ja niiden perusteella suunniteltiin rakenteissa käytettävät liitostyypit.

Naula- ja ruuviliitosten leikkauskestävyyden mitoitusarvot selvitettiin laskennallisesti liitostyyppillä, jossa puuosat on liitetty suoraan toisiinsa. Liitoksille, joiden puuosien välissä on tuulensuojakipsilevy, ei voitu määrittää leikkauskestävyyden mitoitusarvoa laskennallisesti, joten ne määritettiin kokeellisesti laboratoriossa.

Kokeellisesti saatujen ja laskennallisesti määritettyjen tulosten perusteella selvitettiin liitosten leikkauskestävyyden raja-arvot. Niiden perusteella määriteltiin leikkkeen mitoitukset kertoimet, kun liitoksen välissä käytetään tuulensuojakipsilevyä.

---

Avainsanat: Naulaliitos, Ruuviliitos, leikkauskestävyys, kokeellinen kuormitus

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil engineering, House building engineering

---

Author: Sakari Satomaa  
Title of thesis: Screw and Nail Connections of Timber Structures  
Supervisor: Ari Oikarinen  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017  
Pages: 38

---

When the timber structures shear stability are designed, there is no valid instructions in standards for the type of connection where wind shield board are used between the tree parts of connection. Usually in house building, there are exterior balconies or shelters connected to house. Designing and building these houses would be much easier if load-bearing structures could have put on the wind shield board.

This thesis concentrates on nail and screw connections which are used in a designing of timber structures. The major subject of the thesis was to study how the wind shield board between the tree parts affect to the shear stability of the connection.

First different connection types were planned due to load bearings of balconies and shelters. Next shear stability of nail- and screw connections were calculated based on standards. As a result of standards, the stability of connections with wind shield board were tested in laboratory.

Based on the results of testing and calculating, the limit of shear stability was determined for each type of connections. Finally the coefficient to shear stability for each connections were determined.

---

Keywords: nail connection, screw connection, shear stability, experimental load

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
SISÄLLYS	3
1 JOHDANTO	4
2 LIITOSTEN SUUNNITTELU	5
2.1    Liitoksen kuormat	5
2.2    Naulaliitos	8
2.3    Ruuviiliitos	10
3    LIITOSTEN MITOITUSARVOT	13
3.1    Naulaliitos	13
3.2    Ruuviiliitos	16
4    LABORATORIOKOKKEET	19
4.1    Kokeiden suunnittelu	19
4.2    Kokeiden suorittaminen	21
4.3    Kokeiden tulokset	25
4.4    Tulosten analysointi	31
5    YHTEENVETO	35
6    LÄHTEET	36

# 1 JOHDANTO

Suomessa puurakenteiden suunnittelu ja -mitoitus perustuvat Eurokoodi 5:den suunnittelustandardin versioihin ja niiden kansallisiin liitteisiin. Niiden lisäksi käytetään RIL:n puurakenteiden suunnitteluohjeita.

Puurakenteiden pientalojen rungon ulkopintaan tulee aina tuulensuojalevy. Useissa rakennuksissa on erillisiä katoksia ja parvekkeita, joiden takia rungon ulkopintaan joudutaan kiinnittämään niitä kannatteleva palkki. Palkin kiinnittämisessä haasteena on tuulensuojalevy, joka joudutaan poistamaan liitoksen välistä. Toistaiseksi suunnitteluohjeissa ei ole sellaisen virallisen liitoksen ohjeita, joissa kantavan palkin ja rakennuksen pystyrungon välissä olisi tuulensuojalevy. Tuulensuojalevyt voivat olla materiaaleiltaan ja mitoiltaan monenlaisia, mutta tässä työssä keskitytään ainoastaan 9 mm:n kipsilevyyn.

Opinnäytetyön tarkoituksena on testata laboratorio-olosuhteissa kokeellisesti liitostyyppien leikkauskestävyyksiä, kun palkin ja runkotolpan välissä on 9 mm:n tuulensuojakipsilevy. Sen lisäksi testataan tähän mennessä käytettyjen liitostyyppien, joissa ei käytetä levyä, leikkauskestävyydet. Tällaiset liitokset myös lasketaan suunnitteluohjeiden mukaisesti, ja niitä verrataan kokeellisesti saatuihin arvoihin.

Työssä on tarkoitus verrata liitoksen kapasiteetteja keskenään, kun liittiminä käytetään sekä ruuvia että naulaa. Tärkeimpänä tavoitteena työssä on selvittää, miten kipsilevy liitoksen välissä vaikuttaa sen kestävyysasteeseen. Tulosten perusteella laaditaan suunnitteluohje, jota rakennesuunnittelijat voivat käyttää apunaan liitoksia suunniteltaessa.

Opinnäytetyön tilaaja on Kastelli-talot Oy. Työ on tärkeä osa rakenteiden kehittämistä ja suunnittelun helpottamista. Kastelli-talot Oy on osa vakavaraista v.1920 perustettua Harjavalta-konsernia. Konserniin kuuluvat myös Puustelli-Group Oy ja HSL Group Oy. Kastelli-talot Oy:n tytäryhtiöitä ovat Rakennusliike Lapti Oy, talotekniikkayritys Terawatt Oy sekä KW-Component Oy.

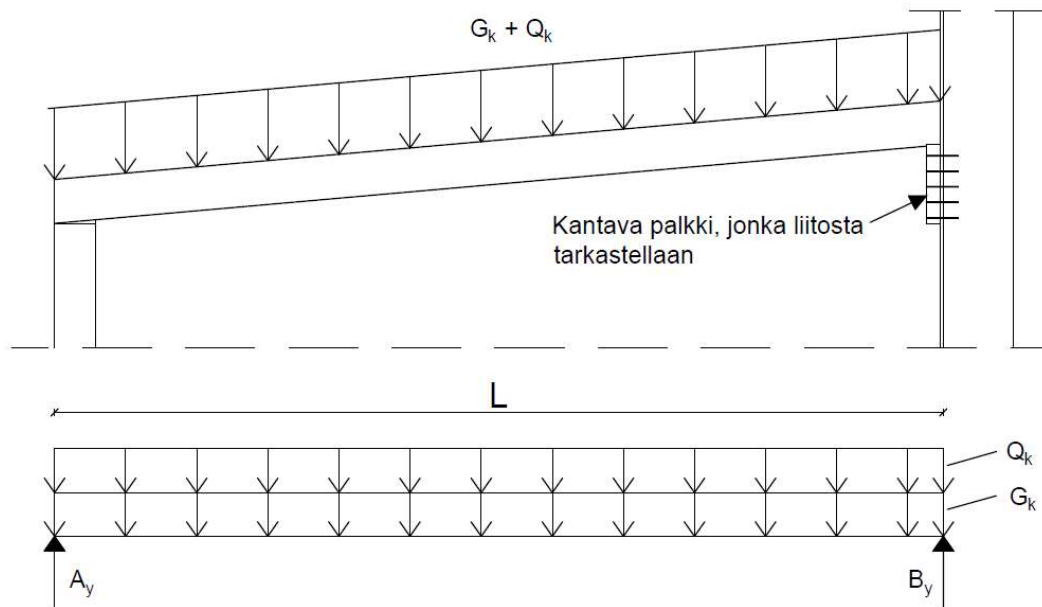
## 2 LIITOSTEN SUUNNITTELU

Tässä työssä käytetyt metalliset puikkoliittimet ovat kaikki standardin EN 14592 mukaisia ja CE-merkittyjä. Liitoksessa käytettävät puutuotteet ovat CE-hyväksyttyä sahatavaraa. Työssä keskitytään liitoksen kestävyysmitoitukseen käyttöluokissa 1 ja 2. Puutuotteiden jäykkyysominaisuudet ja ominaislujuudet vastaavat viiden minuutin kuormitusaikaa RH 65 %:n käyttöolosuhteissa. (RIL 205-1. 2017, 49.)

### 2.1 Liitoksen kuormat

Tässä työssä tarkastellaan liitosta, jonka kuormat tulevat sen päällä olevan rakenteen pysyvästä kuormasta ja muuttuvista kuormista. Kuormitetun liitoksen hyötykuorma koostuu katoksilla lumikuormasta, joka vaihtelee suomessa arvojen  $2,0 \text{ kN/m}^2$  ja  $3,5 \text{ kN/m}^2$  välillä. Erillisten katosten lumikuorma lasketaan korotettuna lumikuormana lumen mahdollisen kasaantumisen vuoksi. Parvekkeella liitosta kuormittaa asuintiloissa  $2,5 \text{ kN/m}^2$ :n suuruinen hyötykuorma. Murtorajatilassa laskettavassa kuormitusyhdistelmässä käytetään kerrointa  $K_{FI}$ . Kun liitosta käytetään asuintilojen katosten ja parvekkeiden kannattimien kiinnittämisessä, se kuuluu seuraamusluokkaan CC2. Tässä seuraamusluokassa kerroin  $K_{FI} = 1,0$ . (Pura 2017; RIL 205-1. 2017, 28,34,37.)

Asuintilojen katoksia tehdään pelti-, huopa- ja tiilirakenteisina. Näistä tiilirakenteella on suurin ominaiskuorma, joten se valitaan määräävänä kuormana liitoksen kuormitusta laskettaessa. Tiilikaton ominaiskuorma, mukaan lukien kantavat rakenteet, on yleisesti  $0,6 \text{ kN/m}^2$ . Parvekkeen ominaiskuorman arvo lasketaan varmalle puolelle, jolloin käytetään samaa ominaisarvoa kuin tiilikatolla. Parvekkeiden aukkoväli vaihtelee myös kohteesta riippuen. Tässä työssä tarkasteltavan parvekkeen aukkoväli on  $2,5 \text{ m}$ :ä. (Pura 2017.)



KUVA 1. Työssä tarkasteltavan rakenteen staattinen kuormitus. Kuvassa  $G_k$  on rakenteen ominaiskuorma,  $Q_k$  on rakenteeseen vaikuttava hyötykuorma ja  $L$  on rakenteen aukkopituus.

Liitokseen vaikuttava pystykuorma on tässä tapauksessa kantavan rakenteen pysyvän kuorman ja muuttuvan kuorman aiheuttama tukireaktio. Koska kuorma jakautuu rakenteelle tasaisesti, molemmat tukireaktiot ovat yhtä suuret.

$$A_y = B_y = \frac{G_k * L + Q_k * L}{2}$$

Siellä missä  $A_y$  ja  $B_y$  ovat rakenteen tukireaktiot.  $Q_k$  on rakenteen hyötykuorma,  $G_k$  on rakenteen ominaiskuorma ja  $L$  on rakenteen pituus. Liitoksen kuormituskapasiteetti lasketaan murtorajatilassa, jolloin käytetään standardin EN 1990 kansallisen liitteen mukaista kuormitusyhdistelyä.

$$\text{Max} = \begin{cases} 1,15K_{FI}G_k + 1,5K_{FI}Q_k \\ 1,35K_{FI}G_k \end{cases}$$

(RIL 205-1. 2017, 27,76)

Tarkasteltavan rakenteen kantavat palkit ovat 600 mm:n jaolla tosistaan. Rakennetta kannatteleva palkki on myös kiinnitetty 600 mm:n jaolla runkotolppaan.



Työssä tarkastellaan liitoksen leikkauskapasiteettiä  $P_d$  murtorajatilassa kolmessa eri käyttötarkoituksessa. (Pura 2017.)

Kun työssä tarkasteltavaa liitosta kuormittaa parvekerakenne, siihen vaikuttavat kuormat:

$$G_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{d,\text{parveke}} = \text{Max} = \begin{cases} 1,15 * 1,0 * 0,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 * 1,0 * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 4,44 \text{ kN/m}^2 \\ 1,35 * 1,0 * 0,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,81 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

$$P_{d,\text{parveke}} = 4,44 \text{ kN/m}^2$$

Kantavat palkit jakautuvat 600 mm:n välein, joten yhteen liitokseen vaikuttava kuorma on:

$$P_{d,\text{liitos.1}} = 0,6 \text{ m} \times 4,44 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{d,\text{liitos.1}} = 2,664 \text{ kN/m} \cong 2,7 \text{ kN/m}$$

Liitokseen vaikuttava leikkauskuorma on sama kuin rakenteen tukireaktio. Liitoksen leikkauskuorma murtorajatilassa:

$$A_y = \frac{P_{d,\text{liitos.1}} * L}{2}$$

$$A_y = \frac{2,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,5 \text{ m}}{2} = 3,375 \text{ kN} \cong 3,4 \text{ kN}$$

(RIL 205-1. 2017 27,76.)

Kun liitosta kuormittaa terassin tai parvekkeen katos, siihen vaikuttavat rakenteen ominaiskuorma sekä lumen aiheuttama hyötykuorma. Suomessa lumikuorman vaikutus vaihtelee maantieteellisen sijainnin perusteella. Erillisillä katoksilla käytetään korotettua lumikuormaa lumen mahdollisen kasaantumisen vuoksi.

Tässä liitoksen leikkauskestävyyden määrittämisessä murtorajatilassa käytetään korotetun lumikuorman arvoa  $Q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ . (Pura 2017; RIL 205-1. 2017, 27,76.)

Tarkasteltavassa tilanteessa liitosta kuormittaa katosrakenne, siihen vaikuttavat kuormat:

$$G_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{d.katos} = \text{Max} = \begin{cases} 1,15 * 1,0 * 0,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 * 1,0 * 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 5,19 \text{ kN/m}^2 \\ 1,35 * 1,0 * 0,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,81 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

$$P_{d.katos} = 5,19 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{d.liitos.2} = 0,6 \text{ m} \times 5,19 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{d.liitos.2} = 3,114 \text{ kN/m} \cong 3,1 \text{ kN/m}$$

$$A_y = \frac{P_{d.liitos.2} * L}{2}$$

$$A_y = \frac{3,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,5 \text{ m}}{2} = 3,875 \text{ kN} \cong 3,9 \text{ kN}$$

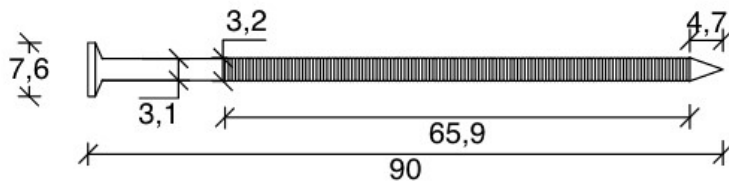
Tässä työssä tarkasteltavan liitoksen leikkauskuormituksen mitoitusarvo murtorajatilassa on parvekerakenteella 3,4 kN ja terassien tai parvekkeiden katosrakenteella 3,9 kN. (RIL 205-1. 2017, 27,76.)

## 2.2 Naulaliitos

Työssä suunnitellaan käytettävän Pasloden kuumasinkittyä kampanaulaa (kuva 2), jonka korroosiosuojaus täyttää standardin EN 1995-1-1 mukaiset vaatimukset ja vastaa käyttöä käyttöluokissa 1 ja 2. Naulojen valmistusprosessi täyttää standardin EN 14592, pykälän 7.3 mukaiset vaatimukset. (Paslode, Linkit Dokumentit -> Naulojen tekniset tuotekortit.)

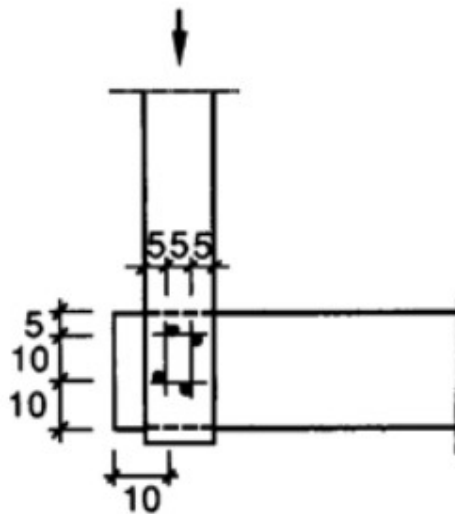
Paslode HDG Kampanaula

3,1x90



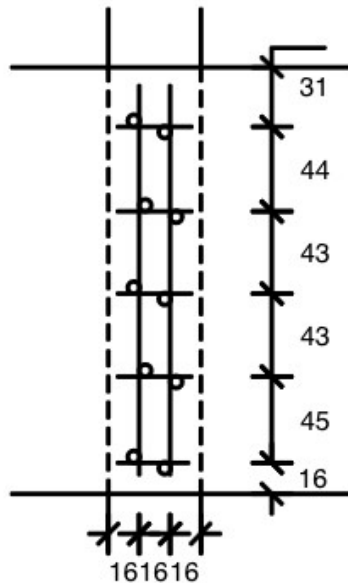
*KUVA 2. Naulaliitoksiin suunniteltu käytettävä liitin. Kuvassa esitetyt mitat ovat millimetreinä.*

Liitoksen naulat sijoitetaan puuosiin niin, että niiden reunaetäisyyksien minimiarvot täyttyvät. Naulojen pienimmät sallittavat reunaetäisyydet on esitetty kuvassa 3. Sahatavaran C24 ominaistiheys  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$  ja liitoksessa käytettävän naulan paksuus  $d = 3,1 \text{ mm}$ . Nauloille ei tarvitse esiporata reikiä, koska esiporaukseen vaadittavat ehdot  $\rho_k \geq 500 \text{ kg/m}^3$  ja  $d \geq 6 \text{ mm}$  eivät ylity. (RIL 205-1. 2107, 113.)



*KUVA 3. Työssä laskettavan liitostyyppin naulojen reunaetäisyyksien minimiarvot, kun yksikkönä on naulan paksuus d.*

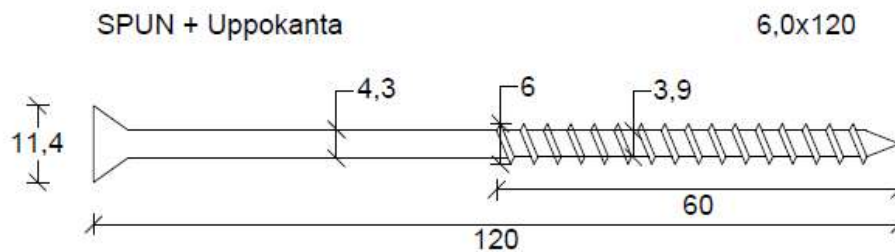
Liitos koostuu kahdesta puuosasta. Leikkeen pituussuuntaan päällimmäisenä on 48 mm:ä x 222 mm:ä profiilin kantava palkki, joka kiinnitetään lappeen suuntaisesti 48 mm:ä x 197 mm:ä profiilin runkotoipan syrjäisivuun kiinni. Tällöin liitoksen alue, johon leikkeet kiinnitetään, on 48 mm:ä x 222 mm:ä. Tällaiseen liitokseen mahtuu sivusuunnassa kaksi- ja pystysuunnassa viisi riviä nauloja, jolloin määräykset pienimmistä sallittavista reunaehdoista vielä täyttyvät. Naulat sijoitetaan liitokseen naulapaksuuden verran syyn suunnasta sivuun, jotta vältetään puuosan halkeaminen. (RIL 205-1. 2017, 113.)



KUVA 4. Suunniteltavan liitoksen naulojen sijoittuminen siten, että pienimmät sallittavat reunaetäisyydet täyttyvät. Kuvan mitat on esitetty millimetreinä.

## 2.3 Ruuviliitos

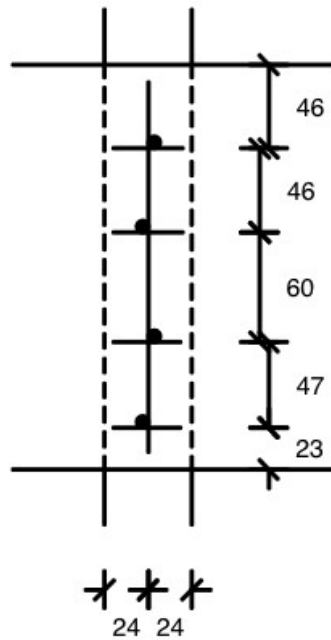
Työssä suunnitellaan käytettävän ITW BYG valmistamia SPUN® uppokantaisia sähkösinkittyjä ruuveja (kuva 5). Ruuvien ominaisarvot ovat testattu standardin 14592 + A1 mukaisesti ja ne ovat tyyppihyväksytyjä. (Paslode, Linkit Dokumentit -> Todistukset ja hyväksynät -> Suoritustasoilmoitukset.)



*KUVA 5. Ruviliitoksissa suunniteltu käytettävä liitin. Kuvan mitat on ilmoitettu millimetreinä.*

Liitoksessa käytettävän ruuvin sileän pinnan halkaisija on 4,3 mm:ä, joka on pienempi kuin  $0,8d$  ja vähintään  $1,1d_i$ . Tässä  $d$  on ruuvin nimellishalkaisija, eli kierteen ulkopinnan halkaisija, ja  $d_i$  tarkoittaa ruuvin kierteen sisähalkaisijaa. Koska nämä vaatimukset täyttyvät, voidaan liitoksessa käytettäviä ruuveja pitää itseporautuvina ruuveina. Liitoksessa käytettävän ruuvin myötömomentti  $M_{y,k} = 10900 \text{ Nmm}$ . (RIL 205-1. 2017, 129.)

Työssä suunniteltava ruuviliitos koostuu samoista puuosista kuin aikaisemmin esitettyssä naulaliitoksessa. Ruuviliitoksella on samankokoinen liitosalue, johon mahtuu pystysuunnassa neljä ruuvia. Sivusuunnassa vaadittu  $5d$  reunaetäisyys runkotolpalla ei kuitenkaan tässä tapauksessa täyty, koska reunaehtoien mitoituksessa käytetään ruuvin nimellishalkaisijaa, eli kierteen ulkopinnan halkaisijaa. Tästä johtuen liitoksen mitoituksessa käytetään runkotolppaa, jonka mitat ovat 73 mm:ä x 197 mm:ä. Näin reunaetäisyys sivusuunnassa on 36,5 mm, joka riittää täyttämään määräykset. (RIL 205-1. 2017, 113.)



*KUVA 6. Suunniteltavan liitoksen ruuvien sijoittuminen. Kuvan mitat ovat ilmoitettu millimetreinä.*

Työssä tullaan vertailemaan tämän liitoksen ja kokeellisesti kuormitetun liitoksen leikkauskestävyyttä. Koekappaleiden kokeellinen kuormitus suoritetaan standardin EN 1380 mukaan. Siinä ei määritellä leikkeiden reunaetäisyyksiä. Tämän mukaan kokeellisessa kuormituksessa voidaan käyttää pienempiä reunaetäisyyksiä, jolloin käytetään runkotoilppaa, jonka mitat ovat 48 mm:ä x 197 mm:ä. (Kevarinmäki 2017; Pura 2017.)

### 3 LIITOSTEN MITOITUSARVOT

Tässä työssä tarkasteltavat kuormitusyhdistelmät muodostuvat eri aikaluokkiin kuuluvista kuormista. Tällöin materiaaliominaisuuksien mitoitusarvoja määritettäessä valitaan kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin  $k_{mod}$  arvo lyhytkestoisimman kuorman mukaan. Kuormitusyhdistelmässä on pysyvää kuormaa, joka tulee rakenteen omapainosta, ja keskipitkää lumikuormaa. Yhdistelmälle käytetään tällöin keskipitkän aikaluokan  $k_{mod}$  kerrointa. Käyttöluokissa 1 ja 2 sahatavaran  $k_{mod}$  kerroin on 0,8. Mitoituksessa lujuusominaisuuden mitoitusarvoon vaikuttaa myös materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluku  $\gamma_M$ , joka on suomessa sahatavaralla 1,3. (RIL 205-1. 2017, 33-33,47,49.)

Työssä käytetään metallisia puikkoliittimiä, jolloin liitoksen kestävyys määrittämisessä huomioidaan liittimen myötölujuus, ulosvetolujuus ja reunapuristuslujuus. Työssä käytettävät kestävyyslaskentakaavat ovat EN 1995-1-1 suunnittelustandardin, kohdan 8.2.2 ohjeiden mukaiset. Laskentakaavat ovat yksinkertaistettu varmalle puolelle niin, että niissä on huomioitu edellä mainitut liitoskestävyyteen vaikuttavat lujuudet. (RIL 205-1. 2017, 106.)

#### 3.1 Naulaliitos

Kampanaulan myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,k} = 2936 \text{ Nmm}$ :ä ja se on määritetty testaamalla standardin EN 14592 mukaisesti. Leikkauskuormitusta määritettäessä käytetään kuitenkin sileän naulan mukaisia kaavoja, koska sen myötömomentin ominaisarvo ei täytä vaatimusta  $M_{y,k} \geq 160d^2/6$ . (RIL 205-1. 2017, 109.)

Liitoksen naulat liitetään puuosiin esiporaamattomina. Tällöin yhtä leikettä kohden naulan ominaisleikkauskestävyys saadaan seuraavalla kaavalla, kun naulan tunkeumasyvyyks on  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 2d$ :

$$R_k = 120d^{1,7} [\text{N}]$$

Kun  $d$  on naulan sileän pinnan paksuus millimetreinä, ja  $R_k$  on leikkkeen ominaisleikkauskestävyys. Kun huomioidaan liitoksessa käytettävien puuosien tiheyden

ja naulan tunkeumapituuksien vaikutukset, voidaan naulan leikkauskestävyyden mitoitusarvo leikettä kohden laskea seuraavalla kaavalla:

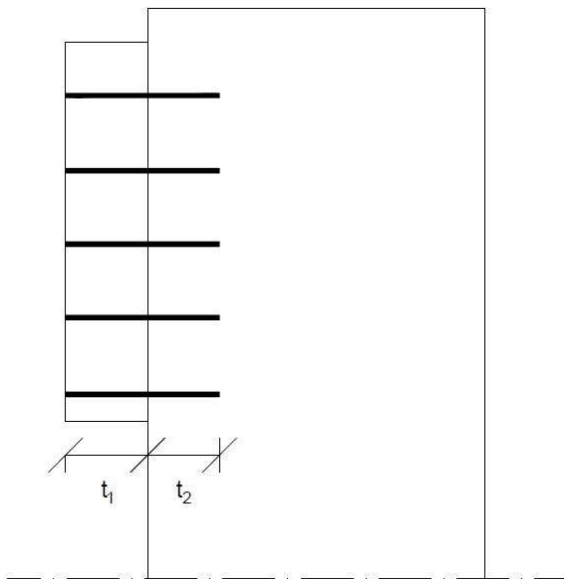
$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * k_\rho * \begin{cases} k_t \\ k_e \end{cases} * R_k$$

$k_\rho$  on leikkauskestävyyden korotuskerroin, jota voidaan käyttää, jos puutavaran ominaistiheys  $\rho_k$  on suurempi kuin 350 kg/m<sup>3</sup>.

$k_t$  on leikkauskestävyyden korotuskerroin, jota voidaan käyttää, jos leikkeen tunkeumasyvyydet  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 12d$ .

$k_e$  on leikkauskestävyyden pienennyskerroin, jota käytetään, jos leikkeen tunkeumasyvyydet  $t_1 \leq 8d$  ja  $t_2 \leq 12d$ .

(RIL 205-1. 2017, 109,112.)



*KUVA 7. Kuvassa on esitetty leikkeen tunkeumasyvyydet liitoksen puuosissa.*

Leikkeen tunkeumasyvyydet ovat  $t_1 = 48$  mm ja  $t_2 = 42$  mm. Koska tunkeumasyvyydet täyttävät vaatimuksen  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 12d$ , voidaan liitoksen leikkauskestävyyttä määritettäessä käyttää korotuskerrointa  $k_t$ . Liitoksen puuosien



tiheyden ominaisarvot ovat samat. Tässä tapauksessa, kun sahatavaran ominaistiheys  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ , korotuserroin  $k_p = 1,0$ .

$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 * \frac{t_1 - 8d}{8d} = 1,2806 \\ 1 + 0,3 * \frac{t_2 - 12d}{6d} = 1,0774 \end{cases}$$

Näistä määräävä on  $k_t = 1,2806$ , mutta koska naula määritellään tässä tapauksessa sileänä naulana, sillä on rajoitus  $k_t = 1,1$ .

Liitoksessa yhden leikkeen leikkauskestävyyden mitoitusarvo on:

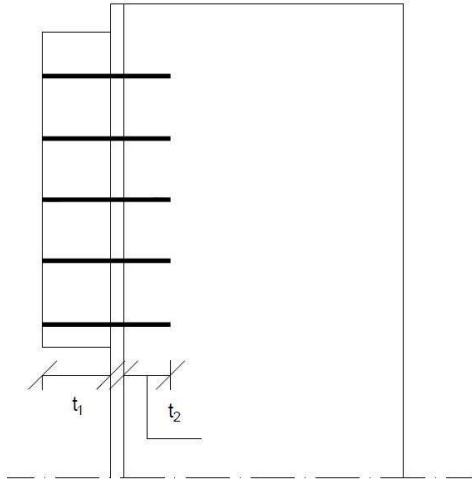
$$R_{d,1} = \frac{0,8}{1,3} * 1,0 * 1,1 * 120 * 3,1^{1,7} = 555,949 \text{ N} \cong 556 \text{ N}$$

Työssä tarkasteltavassa naulaliitoksessa on 10 leikettä, joten koko liitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo on  $10 * 555,95 \text{ N} = 5559,5 \text{ N}$ . Tässä työssä suunnitellun naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo  $R_d$  on 5,56 kN. (RIL 205-1. 2017, 112.)

Työssä tullaan vertailemaan tätä liitostyyppiä samanlaiseen liitokseen, jossa puuosien välissä on 9 mm:n tuulensuojakipsilevy. Kun liitoksen välissä on kipsilevy, tunkeumasyvyyks on  $t_2 < 12d$ . Tässä tapauksessa käytetään leikkauskestävyyttä pienentävää kerrointa  $k_e$ .

$$k_e = \min \begin{cases} \frac{t_1}{8d} = 1,935 \\ \frac{t_2}{12} = 0,887 \end{cases}$$

(RIL 205-1. 2017, 112.)



*KUVA 8. Liitoksen tunkeumasyvyyys  $t_2$  pienenee juuri merkittävästi, kun puuosien välissä käytetään 9 mm tuulensuojakipsilevyä.*

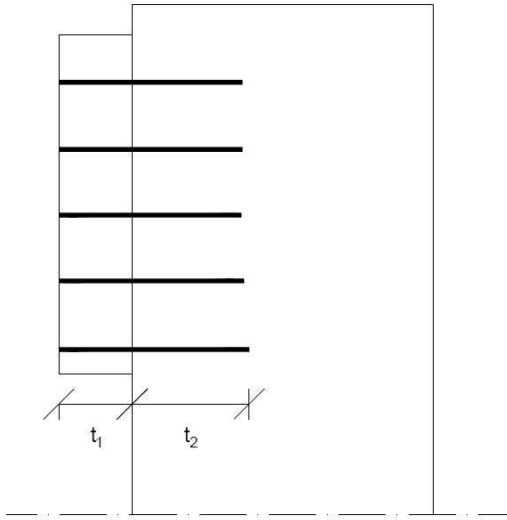
Tällöin yhden leikkeen leikkauskestävyyden mitoitusarvo on:

$$R_{d,2} = \frac{0,8}{1,3} * 1,0 * 0,887 * 120 * 3,1^{1,7} = 448,297 \text{ N} \cong 448 \text{ N}$$

Kun kerrotaan yhden leikkeen mitoitusarvo liitoksessa olevien leikkeiden lukumäärällä, saadaan koko liitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo. Tämän liitoksen mitoitusarvo  $R_d$  on  $10 * 448 \text{ N} \cong 4,5 \text{ kN}$ . (RIL 205-1. 2017, 112)

### 3.2 Ruuviliitos

Ruuviliitoksen leikkauskestävyyttä määritettäessä ruuvin kierteisen osan vaikutus huomioidaan käyttämällä liittimen tehollista halkaisijaa  $d_{ef}$ . Itseporautuvilla ruuveilla tehollinen halkaisija on  $d_{ef} = 1,1d_i$ , joka on tässä tapauksessa 4,29 mm. Koska  $d_{ef} \leq 6 \text{ mm}$ , liitoksessa käytettävien ruuvien mitoituksessa voidaan käyttää naulaliitoksen ohjeita, jotka on annettu pyöreille nauloille. (RIL 205-1. 2017, 129.)



*KUVA 9. Ruuviliitoksen tunkeumasyvyydet.*

Liitoksen ruuvit kiinnitetään liitokseen esiporaamattomana. Tunkeumasyvyyksien ehto  $t_1 \geq 8d_{ef}$  ja  $t_2 \geq 12d_{ef}$  täyttyy, joten esiporaamattomana leikkeen ominaiskestävyys on:

$$R_k = 120d^{1,7} \text{ [N]}$$

Kun  $d$  on ruuvin halkaisija. Itseporautuvan ruuvin mitoituksessa käytetään arvoa  $d = 1,1d_i$ , kun  $d_i$  on ruuvin kierteen sisähalkaisija. (RIL 205-1. 2017, 111.)

Leikkeen tunkeumasyvyydet ovat  $t_1 = 48 \text{ mm}$ :ä ja  $t_2 = 72 \text{ mm}$ :ä. Koska tunkeumasyvyydet täyttävät vaatimuksen  $t_1 \geq 8d_{ef}$  ja  $t_2 \geq 12d_{ef}$ , voidaan liitoksen leikkauskestävyyttä määrittäessä käyttää korotuskerrointa  $k_t$ . Ruuviliitoksessa käytetään samanlaisia puuosia kuin naulaliitoksessa, jolloin sahatavaran ominaistiheys  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$  ja korotuskerroin  $k_p = 1,0$ . (RIL 205-1. 2017, 112.)

$$k_t = \max \begin{cases} 1 + 0,3 * \frac{t_1 - 8d_{ef}}{8d_{ef}} = 1,1196 \\ 1 + 0,3 * \frac{t_2 - 12d_{ef}}{6d_{ef}} = 1,2392 \end{cases}$$

Näistä määräävä on  $k_t = 1,2392$ , mutta ohjeiden mukaan rajoituksena muille

nauloille on  $k_t \leq \sqrt{\frac{M_y}{16 \cdot 2,6}}$ , missä ruuvilla halkaisijan  $d$  arvo on  $d_{ef}$ , ja  $M_y$  on leik-

keen myötömomentti. Liitoksessa käytettävän ruuvin myötömomentti on 10900

Nmm, jolloin raja-arvo korotuskertoimelle on  $\sqrt{\frac{10900}{160 * 4,29^{2,6}}} = 1,2429$ . Ohjeiden

mukainen raja-arvo ei täyty, joten korotuskertoimen  $k_t$  arvo on 1,2392. Ruuviliitoksessa yhden leikkeen leikkauskestävyyden mitoitusarvo on:

$$R_{d,3} = \frac{0,8}{1,3} * 1,0 * 1,2392 * 120 * 4,29^{1,7} = 1088,04 \text{ N} \cong 1088 \text{ N}$$

Työssä tarkasteltavassa ruuviliitoksessa on neljä leikettä, joten koko liitoksen

leikkauskestävyyden mitoitusarvo on  $4 * 1088 \text{ N} = 4352,18 \text{ N}$ . Tässä työssä

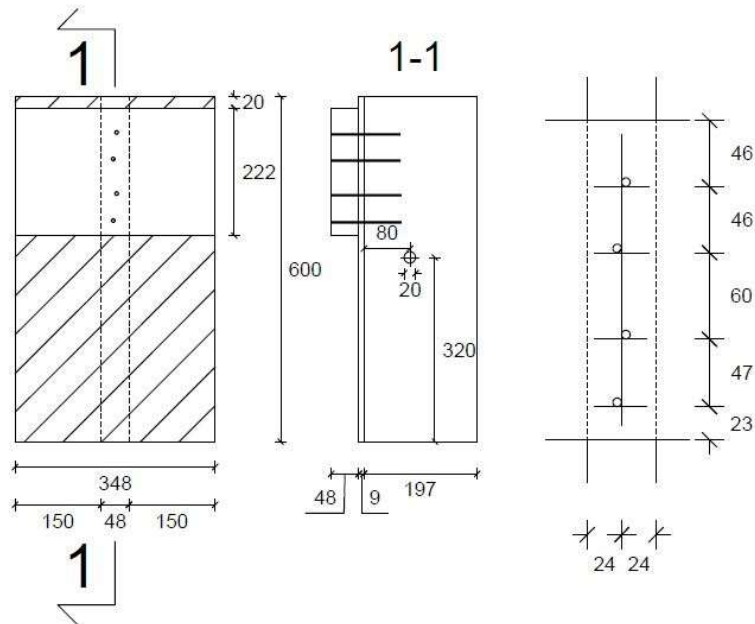
suunnitellun ruuviliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo  $R_d$  on 4,35 kN, kun puuosat on liitetty suoraan toisiinsa. (RIL 205-1. 2017, 112.)

## 4 LABORATORIOKOKKEET

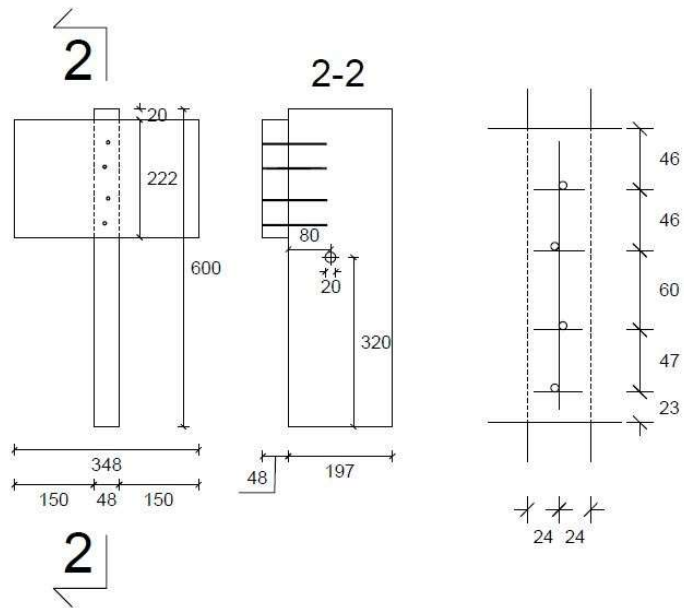
Tutkimuksessa selvitettiin runkotolpan ja kantavan palkin ruuvi- ja naulaliitoksen pystyleikkausvoimakapasiteetti, kun puuosien väliin oli asennettu 9 mm:n tuulensuojakipsilevy. Kuormitukset suoritettiin soveltamalla standardia EN 1380 ”Timber structures - Test methods – Load bearings nails, screws, dowels and bolts”. Liitoksen rakenne muodostui suoraan C24 48 mm:ä x 197 mm:ä runkotolppaan hakasilla kiinnitetystä Gyproc GTS 9 tuulensuojalevystä sekä kipsilevyn läpi runkotolppaan kiinnitetystä C24 48 mm:ä x 222 mm:ä palkista.

### 4.1 Kokeiden suunnittelu

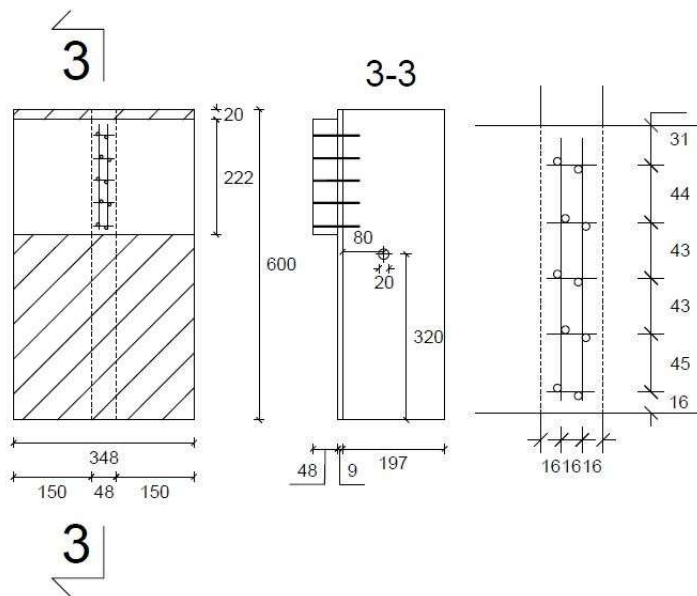
Puristuskokeet tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa kuormituskehän avulla. Ennen virallisia testejä suunniteltiin kaksi erilaista prototyyppiä koekappaleista, joilla testattiin, miten niiden kiinnittäminen ja tuenta laitteeseen onnistuu. Koetestauksen perusteella suunniteltiin lopulliset koekappaleet. Testejä varten valmistettiin neljälle liitostyypille koekappaleet KW-Component Oy:n tiloissa. Jokaisesta liitostyypistä tehtiin viisi koekappaletta testausta varten, jotta tuloksiin saatiin tarpeeksi otantaa.



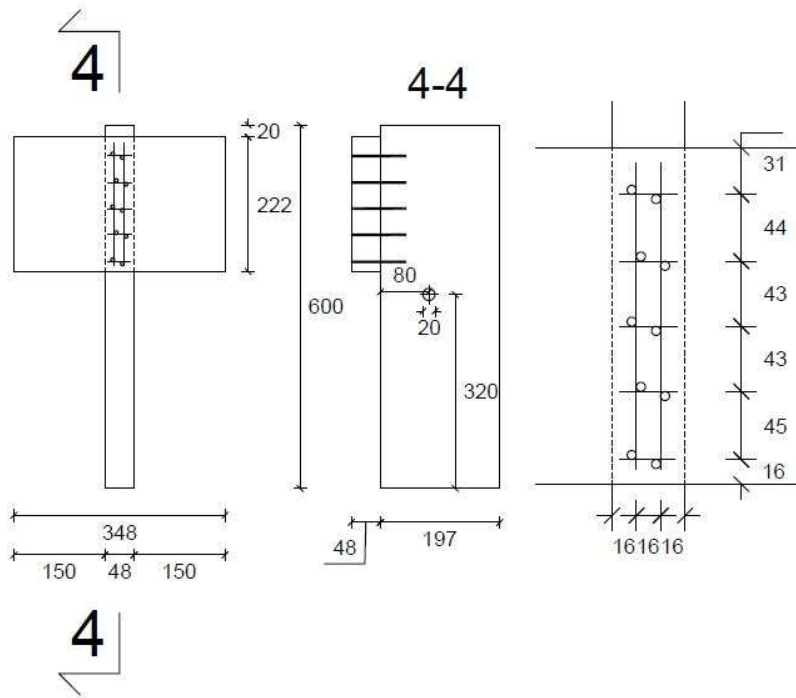
KUVA 10. Koekappale 1, jossa ruuviliitoksen välissä on tuulensuojakipsilevy.



KUVA 11. Koekappale 2, runkotolpan ja palkin suora ruuviliitos.



KUVA 12. Koekappale 3, jossa naulaliitoksen välissä on tuulensuojakipsilevy.



KUVA 13. Koekappale 4, runkotolpan ja palkin suora naulaliitos.

#### 4.2 Kokeiden suorittaminen

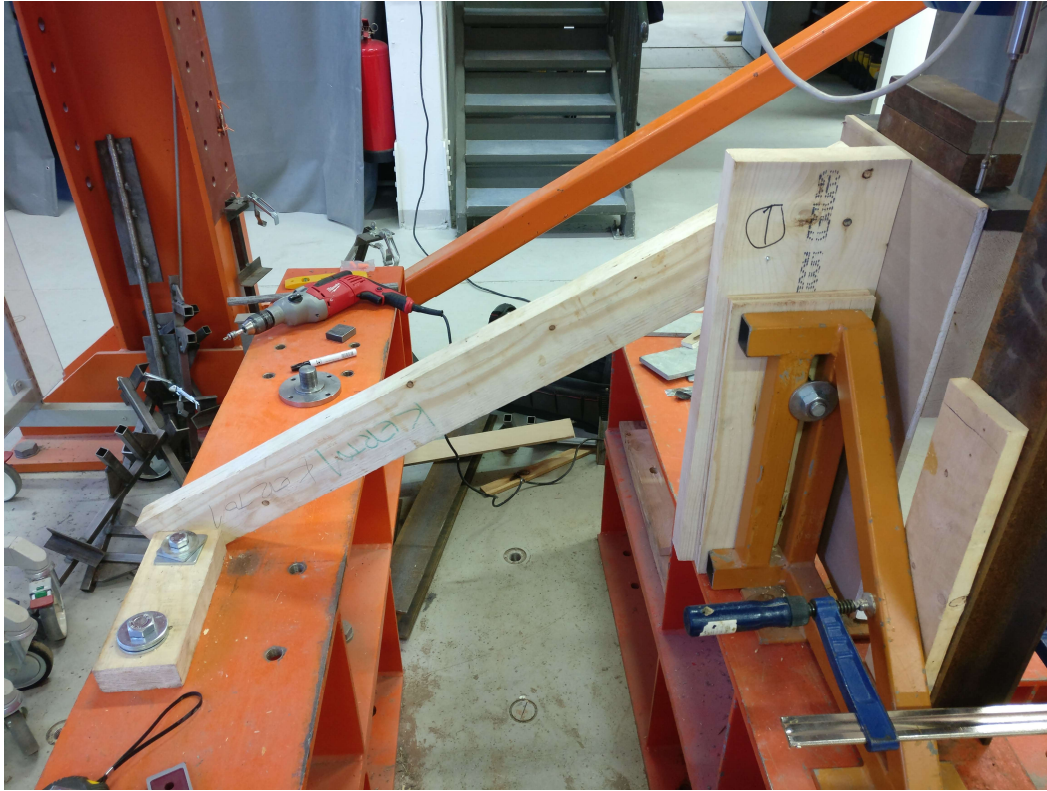
Koekappaleet valmistettiin KW-Component Oy:n tehtaalla, ja toimitettiin sieltä Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriotiloihin. Koekappaleita säilytettiin ennen kokeita kymmenen päivää laboratoriossa, jossa ilman suhteellinen kosteus oli 20-40 %:a, ja ilman lämpötila 20°C. Kokeiden alussa koekappaleista mitattiin kosteuspitoisuudet jokaisen koekappaleen kummastakin puuosasta. Puiden kosteudet mitattiin puunkosteuden piikkimittarilla Gann RTU 600. Kosteudet mitattiin runkotolpan yläosasta pitkän sivun vierestä syiden suuntaisesti. Liitoksen kantavan palkin kosteudet mitattiin puuosan reunasta syiden suuntaan niin, etteivät liitoksessa käytettävät metalliset liittimet vaikuttaneet tulokseen.

Koekappale	Koekappaleen kosteus paino-% kuivapainosta	
	Runkotolppa	Palkki
1	9,6	6,1
2	9,9	6,6
3	10,1	4,9
4	7,9	4,5

*KUVA 14. Koekappaleiden puuosien kosteudet painoprosenttina kuivapainosta viiden mittauksen keskiarvona.*

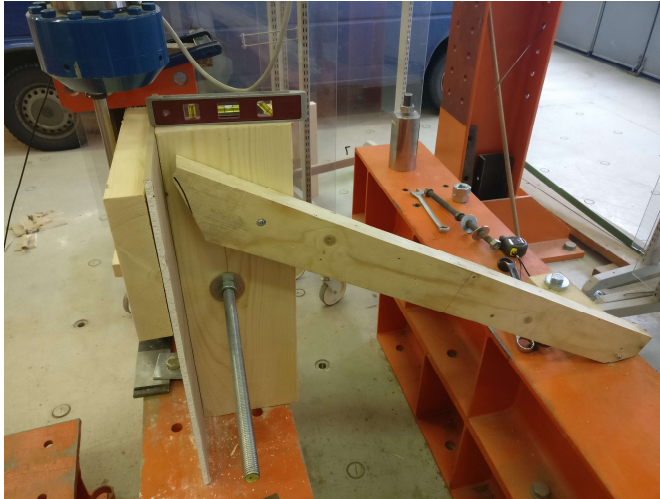
Koekappaleet kiinnitettiin kuormituskehään puristimen alapuolelle kahden teräspalkin päälle. Päällimmäisen teräspalkkiin kiinnitettiin pulteilla kolmion muotoinen teräsosa, jonka pystysuoraan sivuun koekappaleet pultattiin kiinni, ja näin estettiin niiden siirtymä sivuttaisessa suunnassa. Koekappale kiristettiin kiinnitsiten, että siirtymät oli estetty sivuttaissuunnassa, mutta pystysuuntaiset siirtymät olivat mahdollisia. Pultti ei ottanut vastaan pystysuuntaisia kuormia, kun ne siirtyivät suoraan runkotolpan kautta sitä kannattelevalle teräspalkille. Koekappaleen ja teräsosan välissä käytettiin kahta 9 mm:n vanerilevyä, jotta pystysuuntainen kuormitus saatiin suoraan liitoksen yläpuolelle.





*KUVA 15. Koekappaleet kiinnitettiin tiukasti pultin ja mutterin avulla teräskolmioon.*

Koekappaleen kaatuminen eteenpäin estettiin viistoon kiinnitetyllä kertopuulla, jonka toinen pää oli ankkuroitu koekappaleen takana olevaan teräspalkkiin ja toinen pää ruuvattu koekappaleen runkopolan yläpäähän. Koekappaletta kiinnittäessä varmistettiin sen suoruus pystysuunnassa ennen kiinnitystä. Koekappaleen vaakasuoraan kiinnitettyyn kantavan palkin päälle asetettiin kolme lattarautaa. Alimmainen lattarauta oli yhtä leveä kuin palkki, millä varmistettiin se, että kuormitus tulee tasaisesti koko palkille. Kaksi päällimmäistä lattarautaa asetettiin sen päälle, jotta saatiin tarpeeksi paljon siirtymävaraa.



*KUVA 16. Koekappaleeseen kiinnitetty kertopuu, joka estää koekappaleen kaa-  
tumisen eteenpäin.*

Kuormituskehän pystysuuntaiset siirtymät tulivat suoraan hydraulisen tunkin siirtymästä. Kuormitetun palkin alareunaan kiinnitettiin kulmarauta, jota vasten asetettiin pystysuuntaista siirtymää mittaava anturi. Anturin avulla nähtiin, kuinka paljon ylä- ja alareunan siirtymät eroavat toisistaan.

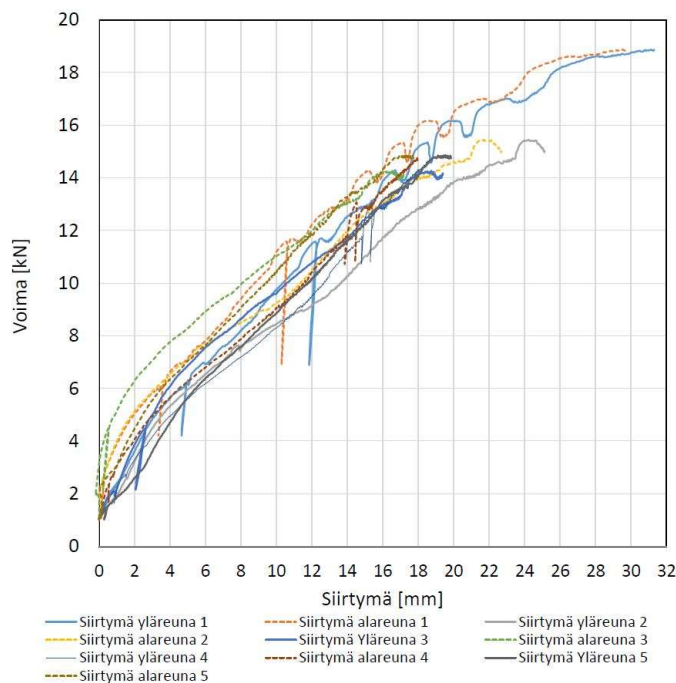


*KUVA 17. Pystyyn asennettuun teräpalkkiin kiinnitetty anturi, joka mittaa kuor-  
mitetun palkin alareunan siirtymiä.*

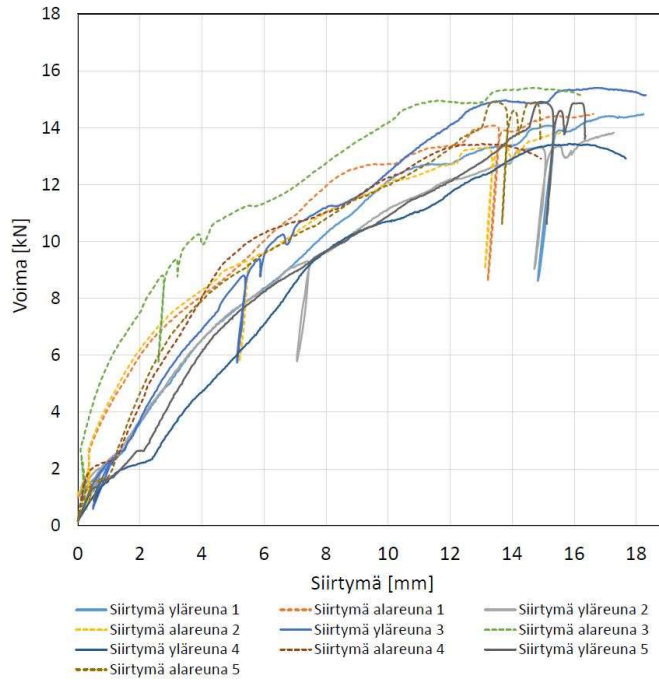
Koekappaleen kantavaa palkkia kuormitettiin palkin keskikohdalta suoraa liitoksen yläpuolelta. Kuormitus suoritettiin standardin EN 1380 mukaisesti. Koekappaleet kuormitettiin siirtymäohjattuna kuormituspään vakionopeudella. Kaikilla koekappaleilla kuormitusnopeus oli 0,03 mm/s. Kuormitusaika oli vähintään kymmenen minuuttia. Kuormitusta ei jatkettu liitoksen lopulliseen murtumispiisteeseen asti, vaan kuormitus lopetettiin, kunnes pystysuuntaiset siirtymät kasvoivat kuormituksen suhteen tarpeettoman suuriksi.

#### 4.3 Kokeiden tulokset

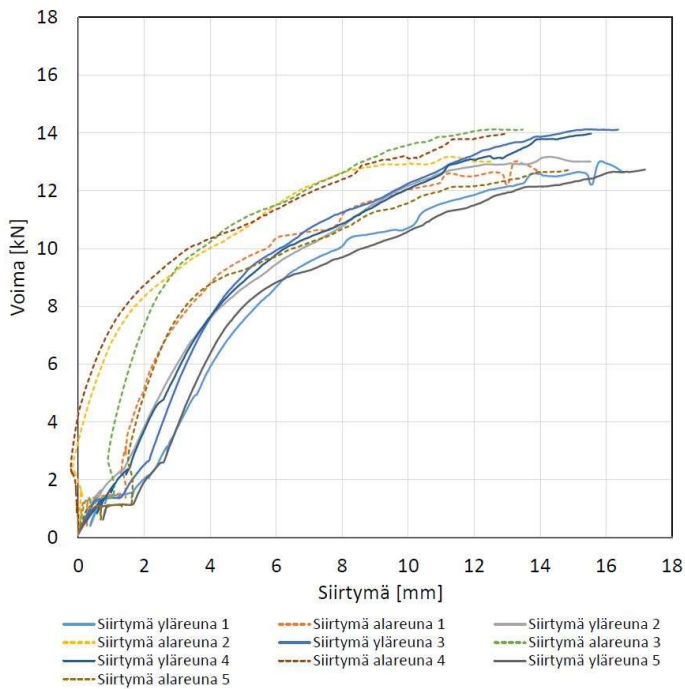
Kokeiden tulokset saatiin kuormituskehän ohjelman Materest FMT ProgSys 8.0 Multi avulla. Laajennettu mittausepävarmuus vastaa normaalijakaumassa luotamustasoa 95 %:a.



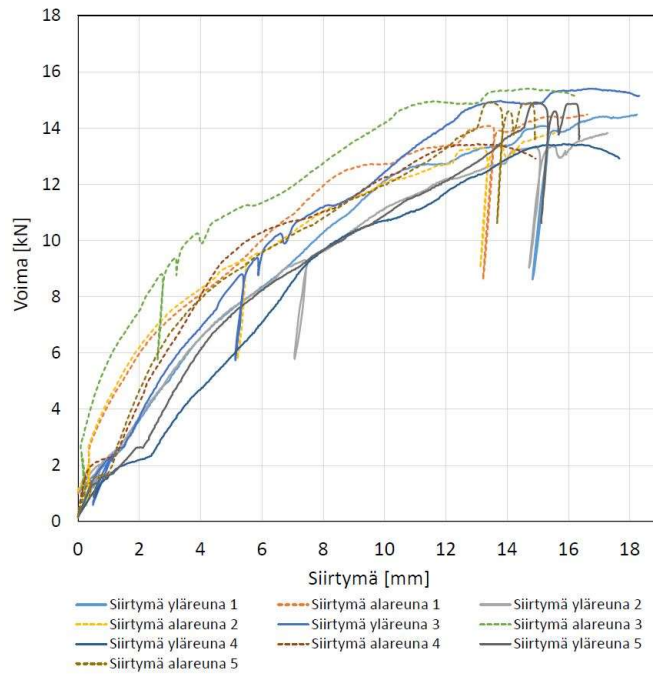
**KUVA 18.** Koekappale 1 liitoksen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.



KUVA 19. Koekappale 2 liitoksen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.

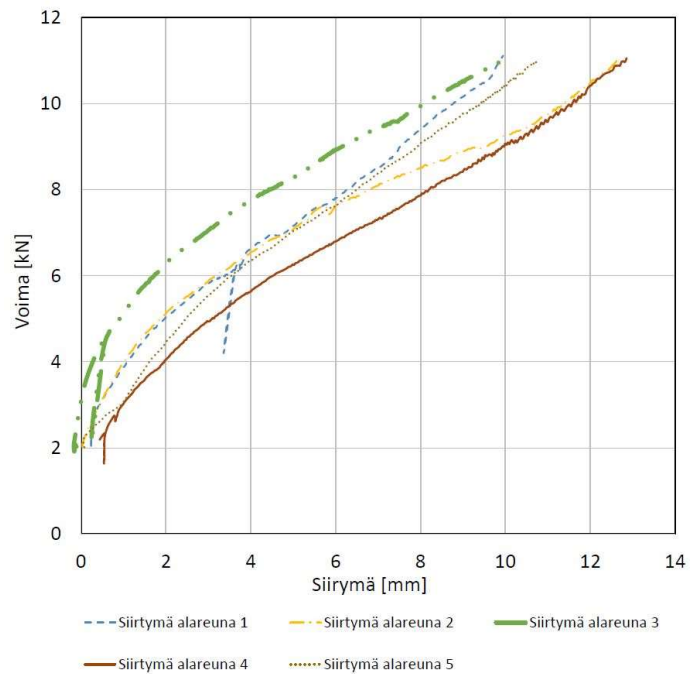


KUVA 20. Koekappale 3 liitoksen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.

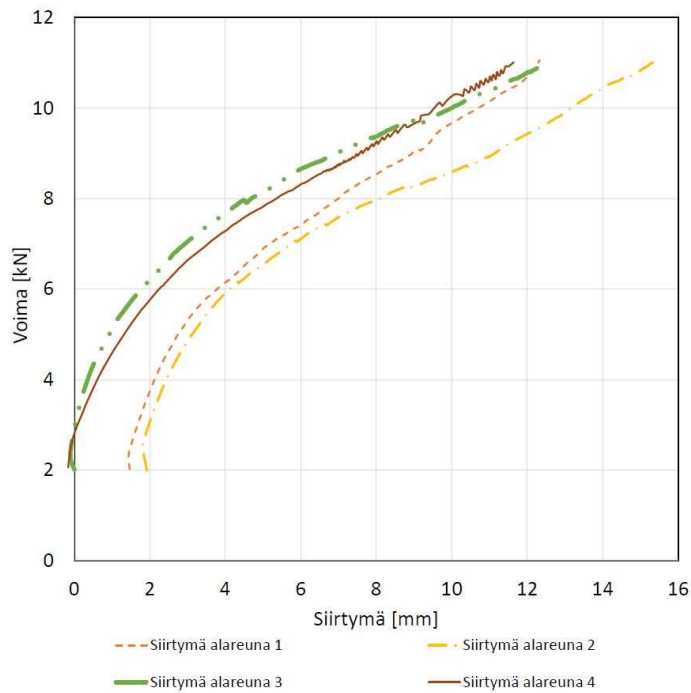


**KUVA 21.** Koekappale 4 liitoksen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.

Kokeissa yläreunan siirtymät tulevat suoraan hydraulisen tunkin pystysuuntaisesta siirtymästä. Alareunan siirtymän arvot tulevat palkin alareunaan kiinnitystä mitta-anturista.

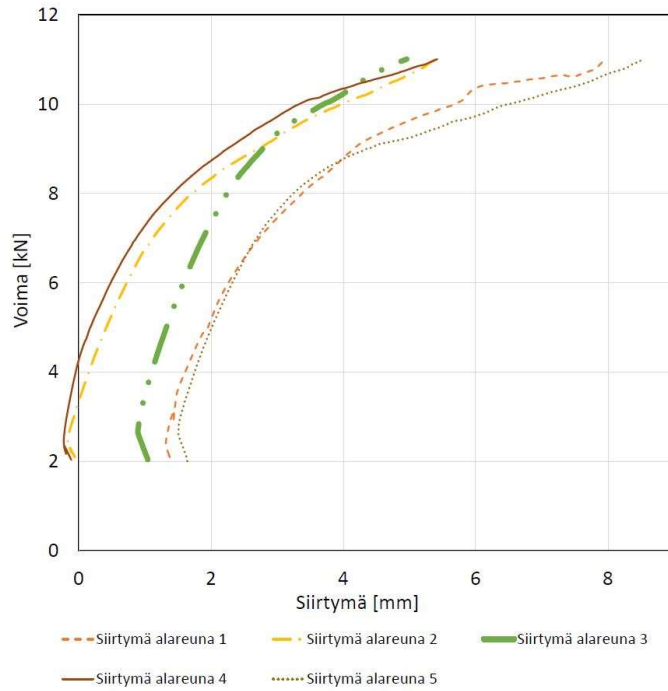


KUVA 22. Koekappale 1 liitoksen alareunojen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.

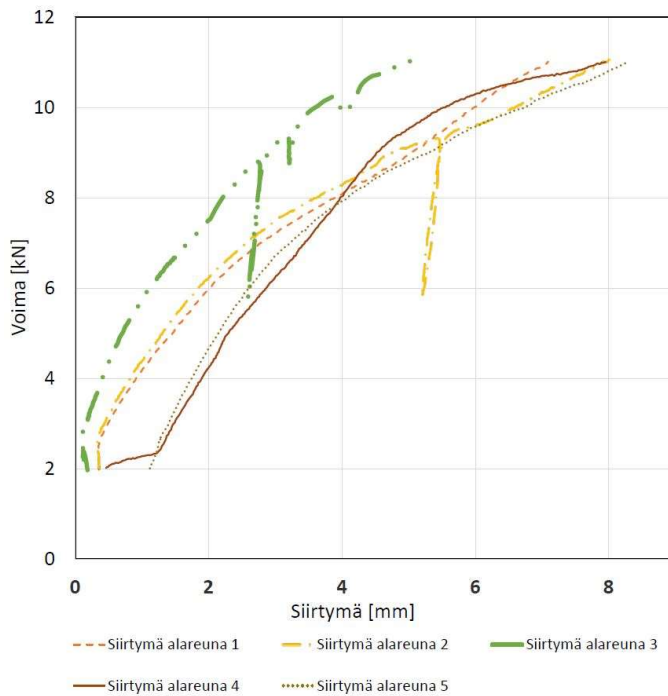


KUVA 23. Koekappale 2 liitoksen alareunojen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.





KUVA 24. Koekappale 3 liitoksen alareunojen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.



KUVA 25. Koekappale 4 liitoksen alareunojen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa leikkausvoimaan.

6x120 ruuviliitos tuulensuojalevyllä						
Voima [kN]	Siirtymät [mm]					
	Koekappale					
	1	2	3	4	5	Keskiarvo
2	0,22	0,04	0,23	0,55	0,08	0,22
3	0,42	0,43	0,33	1,01	0,93	0,63
4	1,10	1,01	0,47	1,94	1,62	1,23
5	1,96	1,86	0,90	3,11	2,47	2,06
6	3,39	3,18	1,73	4,53	3,54	3,28
7	4,81	4,86	2,94	6,35	4,94	4,78
8	6,29	6,80	4,45	8,22	6,49	6,45

3,1x90 naulaliitos tuulensuojalevyllä					
Voima [kN]	Siirtymät [mm]				
	Koekappale				
	1	2	3	4	Keskiarvo
2	1,47	1,92	0,01	0,00	0,85
3	1,68	1,97	0,03	0,09	0,94
4	2,14	2,44	0,35	0,62	1,39
5	2,44	3,13	0,93	1,32	1,96
6	3,79	4,12	1,78	2,26	2,99
7	5,18	5,75	2,93	3,54	4,35
8	7,01	8,11	4,70	5,36	6,30

KUVA 26. Koekappaleiden 1 ja 2 alareunojen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa pystysuuntaiseen voimaan.

6x120 ruuviliitos						
Voima [kN]	Siirtymät [mm]					
	Koekappale					
	1	2	3	4	5	Keskiarvo
2	1,40	0,00	1,05	0,00	1,64	0,82
3	1,40	0,00	0,93	0,00	1,56	0,78
4	1,61	0,16	1,10	0,00	1,75	0,92
5	1,95	0,40	1,33	0,18	2,01	1,17
6	2,26	0,73	1,58	0,48	2,32	1,47
7	2,73	1,12	1,88	0,87	2,69	1,86
8	3,38	1,72	2,24	1,42	3,25	2,40

3,1x90 naulaliitos						
Voima [kN]	Siirtymät [mm]					
	Koekappale					
	1	2	3	4	5	Keskiarvo
2	0,36	0,37	0,18	0,45	1,11	0,49
3	0,49	0,45	0,18	1,48	1,40	0,80
4	0,91	0,84	0,41	1,90	1,75	1,16
5	1,46	1,31	0,71	2,28	2,15	1,58
6	2,01	1,87	1,11	2,86	2,60	2,09
7	2,78	2,59	1,69	3,44	3,22	2,75
8	3,89	3,64	2,19	3,98	4,05	3,55

KUVA 27. Koekappaleiden 3 ja 4 alareunojen pystysuuntaiset siirtymät suhteessa pystysuuntaiseen voimaan



#### 4.4 Tulosten analysointi

Laboratorio-olosuhteissa mitatut puuosien kosteudet poikkeavat hieman toisistaan. Runkotolppien kosteuspitoisuudet olivat vähän pienempiä kuin palkin, mutta mitattuiden kosteuksien arvot vastaavat keskimäärin sisäkuivan sahatavaran kosteutta. Erot johtuvat mahdollisesta säilytystavasta, kun koekappaleet oli kasattu huoneeseen limittäin. Näin osa puuosista pääsi kuivumaan paremmin kuin toiset.

Jokainen kuormituskoe suoritettiin samalla tavalla. Koekappaleen kiinnityksessä sivusuuntaisen siirtymän estävä, koekappaleen runkotolpan läpäisevä pultti kiiristettiin aluksi sen verran löysälle, että koekappaletta pystyttiin vielä pyörittämään pituuden suuntaisesti. Ennen kuin pultti kiristettiin lopulliseen tiukkuuteen, koekappale asetettiin vaakasuoraan vesivaakaa apuna käyttäen. Mitattujen tulosten perusteella osassa koekappaleista havaittiin huomattavaa siirtymää heti kuormituksen alkuhetkillä. Tämä voi johtua siitä, että koekappaleen kiinnityksessä runkotolpan alaosan ja sitä kannattelevan teräspalkin väliin on jäänyt pieni rako.

Työssä tehtyjen kokeiden tulosten perusteella voidaan todeta, että jokainen koekappale noudattaa samaa lineaarista suoraa. Kun tuloksissa on määritelty kuormittavan voiman suhde liitoksen kantavan palkin siirtymään, jokainen koekappale noudattaa keskimäärin samaa kulmakerrointa. Koekappaleen 2 kokeissa ei huomioitu viidennen otoksen tuloksia, koska alun siirtymät olivat niin suuria, mikä mahdollisesti johtuu juuri runkotolpan alapään siirtymisestä. Alun siirtymän jälkeen kyseisen otoksen voima-siirtymä-suora noudatti samaa lineaarista suoraa muiden otosten kanssa.

Kokeissa käytettiin erillistä anturia, joka mittasi palkin alareunan siirtymää. Puuosan ylä- ja alareunan siirtymien välillä oli vähän eroja, jotka syntyvät kuormituksen alkuvaiheessa. Nämä erot johtuivat puuosan mahdollisesta kasaan painumisesta. Osassa kokeista havaittiin, että alareunan siirtymäanturi antoi negatiivisia arvoja. Tämä johtui mahdollisesti kulmaraudan muodosta, jota vasten siirtymäanturi oli asennettu. Kun puuosa liikkui, siirtymäanturin jousi liikkui mahdollisesti kulmaraudan päällä, mikä aiheutti negatiiviset arvot tuloksissa.



*KUVA 28. Kulmarauta, jota vasten siirtymäanturi on asennettu.*

Kokeiden perusteella voidaan sanoa, että kun puuosat liitetään suoraan toisiinsa, liitoksen leikkauskestävyys alkoi heikentyä selvästi vasta kun kuormittava voima saavuttaa 8 kN arvon. Vastaavasti liitostyypillä, joiden puuosien välissä oli 9 mm tuulensuojakipsilevy, leikkauskestävyys alkoi heikentyä kuormittavan voiman saavuttaessa 6 kN arvon.

Kokeellisesti mitatut leikkauskestävyyden arvot naulaliitoksella, jossa puuosat ovat suoraan liitetty toisiinsa, olivat vähän pienempiä kuin laskennallisesti määritetyt arvot samalla liitoksella. Tämä johtui mahdollisesti koekappaleen kiinnitykseen liittyvistä ongelmista. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että joidenkin kuormitettujen koekappaleiden alaosa oli jäänyt jonkun verran ilmaan kiinnitysvaiheessa, joka aiheutti kuormituksen alkuvaiheessa tarpeetonta siirtymää. Laskennallisesti naulaliitoksella oli parempi leikkauskestävyyden mitoitusarvo kuin ruuvilla. Työssä tehtyjen kokeiden perusteella taas ruuvi saavutti vähän paremmat arvot kuin naula.

Kokeellisesti kuormitetun ruuviliitoksen, jonka puuosat ovat suoraan toisiinsa liitettyjä, leikkauskestävyyden arvot olivat myös vähän pienempiä kuin vastaavan liitoksen laskennallisesti määritetyt arvot. Tämä voidaan katsoa johtuvan siitä, että koekappaleiden liitoksissa määrätty reunaetäisyydet eivät täyttyneet. Leik-

kauskestävyyden määrittämisessä raja-arvona siirtymälle voidaan pitää 1 millimetriä, jolloin kokeellisesti kuormitetun koekappaleen leikkauskestävyys on 4,32 kN. Liitoksessa on neljä leikettä, joten yhden leikkeen leikkauskestävyys on 1,08 kN. Tämä on 99,2 %:a laskennallisesti määritetyn ruuviliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvosta. Ruuviliitosten suunnittelussa huomioidaan määräystä pienemmät reunaetäisyydet, käyttämällä leikkeen kestävyysmitoituksessa kerrointa 0,99.

Kun vertailukohteena on puuosien suora liitos, kokeellisen kuormituksen perusteella puuosien välissä olevalla tuulensuojakipsilevyllä on vain vähäiset merkitykset, kun liitoksen kuormitus oli alle 4 kN. Siirtymien erot kasvoivat merkittävämmiin vasta, kun leikkauskuormitus arvo oli yli 5kN. Kokeellisten kuormitusten yhteydessä ei tarkasteltu erikseen sitä, kuinka paljon kuormitettu puuosa palautuu, kun kuormaa vähennetään.

Kun tarkastellaan liitostyyppiä, missä puuosien välissä käytetään 9 mm:n tuulensuojakipsilevyä ja liitoksen murtumista tarkasteltaessa ollaan varmallalla puolella, kokeiden perusteella siirtymän raja-arvona pidetään 1 millimetriä. Tämän perusteella naulaliitoksen leikkauskestävyyden raja-arvo on 3,1kN ja vastaava arvo ruuviliitoksella on 3,6kN.

Liittimet	Leikkauskestävyys [kN/leike]		
	Aikaluokka keskipitkä		
	1*	2*	3*
3,1x90 Kampanaula	0,56	0,31	x
6x120 Puuruuvi	1,088	0,9	1,08

\*

1 = Puuosien suora liitos

2 = Puuosien liitoksessa välissä on tuulensuojalevy

3 = 4d sivusuuntainen reunaetäisyys

*KUVA 29. Kuvassa ilmoitettu liittimien leikkauskestävyydet yhtä leikettä kohden, kun käytössä on erilaisia liitostyypppejä.*

Työssä tarkasteltavassa naulaliitoksessa on kymmenen leikettä, joten yhden leikkeen leikkausvoiman raja-arvo on tässä tapauksessa 0,31 kN. Se on 55 %:a pienempi kuin laskennallisesti mitoitettu naulaliitos suoraan liitetyille puuosille, missä leikkeen tunkeumasyvyyys  $t_2 \geq 12d$ . Kun huomioidaan tuulensuojalevyn vaikutus tunkeumasyvyyteen  $t_2$ , leikkauskestävyyden mitoituksessa käytetään pienennyskerrointa  $t_e$ . Tässä tapauksessa kokeellisesti mitattu leikkauskestävyys on 69 % pienempi kuin laskennallisesti määritetty leikkauskestävyyden arvo. Naulaliitoksen suunnittelussa voidaan tuulensuojalevyn vaikutus huomioida, kun käytetään leikkeen kestävyysmitoituksessa kerrointa 0,55.

Tässä työssä tarkasteltavassa ruuviliitoksessa on neljä leikettä, joten yhden leikkeen leikkausvoiman raja-arvo on 0,9kN. Se on 82 %:a pienempi kuin laskennallisesti mitoitettu ruuviliitos suoraan liitetyille puuosille. Ruuviliitoksen suunnittelussa huomioidaan tuulensuojalevyn vaikutus, kun käytetään leikkeen kestävyysmitoituksessa kerrointa 0,82.

## 5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää kokeellisesti puurakenteisen naula- ja ruuviliitoksen leikkauskestävyys, kun puuosien välissä käytetään 9 mm:n tuulensuojakipsilevyä. Lisäksi tavoitteena oli vertailla näitä liitostyyppiejä yleisesti käytettyihin liitostyyppihin, joissa puuosat on liitetty suoraan toisiinsa.

Liitostyyppiejä suunniteltaessa pyrittiin keskittymään sellaisiin liitoksiin, joita käytetään yleisesti myös pientalojen rakenteiden suunnittelussa. Työssä tutkittiin liitoksia, joita käytetään pientalon parvekkeiden ja katosten kantavien rakenteiden kiinnityksessä. Näiden rakenteiden mahdollisia kuormia tutkittiin, ja niiden perusteella suunniteltiin työssä käytettävät liitostyyppit.

Naula ja -ruuviliitoksille määritettiin leikkauskestävyyden laskennalliset mitoitusarvot liitostyypeillä, joissa puuosat on liitetty suoraan toisiinsa. Työssä mitattiin kokeellisesti mitoitusarvot niille liitoksille, joissa puuosien välissä käytettiin tuulensuojakipsilevyä. Suoraan liitettyjen puuosien ja kokeellisesti kuormitettujen liitosten leikkauskestävyyden mitoitusarvoja vertailtiin keskenään. Tutkimusten perusteella määritettiin mitoituksen raja-arvot kokeellisesti kuormitetuille liitoksille, joita voidaan käyttää työssä tarkasteltavien rakenteiden suunnittelussa.

Työssä tehdyssä puurakenteisten liitosten kokeellisessa kuormituksessa havaittiin myös ongelmakohtia. Kokeellisista kuormituksista saatujen tulosten perusteella ei voida varmuudella sanoa, mistä johtuivat joidenkin liitosten siirtymät heti kuormituksen alkuvaiheessa. Työssä ei myöskään tarkasteltu sitä, kuinka paljon liitoksen kuormitettu puuosa palautuisi kuormituksen aiheuttaman leikkausvoiman pienenettyä. Kokeellisessa kuormituksessa käytetyn siirtymäanturin antamien negatiivisien arvojen syytä ei voida myöskään varmuudella sanoa. Näiden asioiden selvittämiseen pitäisi tehdä lisätutkimuksia.

## 6 LÄHTEET

RIL 205-1-2017. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Pura, Pekka. Tekninen asiantuntija. Kastelli-talot Oy. Keskustelu 3.3.2017 ja 31.3.2017.

Kevarinmäki, Ari. Johtava asiantuntija. VTT Expert Services Oy. Keskustelu 3.3.2017.

Paslode. Saatavissa <http://www.itw.fi/tuotekortit/>. Hakupäivä 31.3.2017

Paslode. Saatavissa <http://www.itwcp-techdocs.eu/>. Hakupäivä 31.3.2017

